

学校编码: 10384
学 号: 23320081153304

分类号____密级____
UDC____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

无线通信系统时钟及环境指纹的研究

The Study on Clock and Environment Fingerprints of Wireless
Communication System

谢 良

指导教师姓名: 黄联芬 副教授
专 业 名 称: 通信与信息系统
论文提交日期: 2011 年 5 月
论文答辩时间: 2011 年 月
学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2011 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此申明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

随着无线通信技术的不断成熟和发展,无线通信系统的安全问题已成为制约其未来发展的因素之一。尽管已有的上层安全机制已经较为成熟,但并没有彻底解决无线通信系统物理层的安全威胁,如认知无线电的 PUE(Primary User Emulation, 模仿主用户)攻击问题。本文从物理层角度出发,利用无线设备在硬件上存在的差异作为识别其个体的指纹特征,从而判定该无线设备是合法用户还是非法用户。

无线信号的时钟抖动在频域上体现为信号码元速率的偏移,将其作为无线设备的时钟指纹具备唯一性和稳定性的特点。因此本文将时钟指纹的概念引入无线设备的识别,针对无线网卡和软件无线电设备两类不同的设备,分别分析其时钟指纹产生原理,并给出相应的信号采集系统和特征提取算法。无线网卡信号的时钟功率谱可以看作是经过传输信道的频率响应,本文利用频率域建模方法提取其时钟指纹特征,实测数据识别结果表明,基于支持向量机的分类方法更适用于无线网卡识别,不同网卡的识别率可达 77.6%;传统的基于局部极大值判定的线谱特征提取算法会直接影响到线谱提取的准确性,本文提出了基于两级分类的极值区间可调线谱提取改进算法用于提取软件无线电设备时钟指纹特征,实测数据识别结果表明,改进算法的识别率可达 85%,性能优于一般的固定区间线谱提取算法。同时采用自组织特征映射网络识别率较基于支持向量机的识别率高 13.33%,更适用于软件无线电设备的识别。

考虑到无线通信系统中信道因素的影响,本文提出了无线通信系统环境指纹的概念,结合功率谱估计及小波分析统计量方法,初步实验结果表明,对于同一台无线设备,经过不同信道传播后的指纹特征有一定差异性,证明了环境指纹的存在和本文所提方法用于识别无线时不变信道的有效性。

关键词: 时钟指纹; 分类识别; 环境指纹

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Along with the maturity and development of wireless communication technology, the security issue of wireless communication system has become a bottleneck restricting its future growth. Although the existing upper-layer security mechanisms are essential to secure wireless networks, these techniques do not directly leverage the security threats at physical layer such as Primary User Emulation (PUE) attack in Cognitive Radio Network. Therefore, in this thesis we introduce the concept of transmitter fingerprint identification considering the security issue at physical layer of communication system, making full use of the difference on hardware to extract its individual fingerprint characteristics and identify it is legal or illegal user.

Clock jitter can be reflected by its deviation from the ideal symbol rate in frequency domain and has the virtue of uniqueness and stability, so we introduce the concept of clock fingerprints into the wireless equipment identification. For WLAN cards and software-defined radio (SDR) devices, we analyze its mechanism by which the clock fingerprint comes respectively and gives the corresponding signal acquisition system and feature extraction algorithm. The clock spectrum of WLAN signal can be regarded as the frequency response through the transmission channel, thus by means of frequency-domain modeling we can extract its clock fingerprints and the recognition results show that support vector machine (SVM) method is more applicable for WLAN card recognition and the identification rate for WLAN cards of different brands can reach 77.6%. The traditional local-maximum judgment based line-spectrum extraction algorithm will directly affect the accuracy of the extraction results, this thesis puts forward a two-step classification based variable interval line-spectrum extraction algorithm, it can be applied to clock fingerprints extraction of SDR devices, the recognition results indicate that the recognition rate of the proposed algorithm can reach 85% and its performance is better than the fix-interval line-spectrum extraction algorithm. Meanwhile the self-organizing feature mapping (SOM) method is more suitable for identification of SDR devices and its identification rate is 13.33% higher than that of SVM method.

Considering the channel factor in wireless communication system, this thesis introduce the environment fingerprints of wireless communication system, by means of power spectral estimation and wavelet decomposition statistics analysis, the preliminary experiment results show that the fingerprint characteristics of different channels appear the discrepancy even for the same equipment, proved the existence of its fingerprints and the effectiveness of the proposed method to identify the time-invariant channel.

Key Words: Clock Fingerprints; Classification and Identification; Environment Fingerprints

目录

第一章 绪论	1
1.1 论文研究背景	1
1.2 无线通信系统指纹研究现状及应用前景	2
1.2.1 研究现状.....	2
1.2.1.1 指纹识别研究.....	2
1.2.1.2 分类器研究.....	4
1.2.2 应用前景.....	4
1.3 本文研究内容	5
1.4 论文章节安排	5
第二章 时钟指纹机理分析及采集	7
2.1 无线通信系统指纹基本特征	7
2.1.1 无线设备“指纹”的特点	7
2.1.2 常见的“指纹”特征	7
2.2 时钟“指纹”	8
2.2.1 时钟“指纹”的提出	8
2.2.2 时钟“指纹”获取的理论证明	9
2.2.3 时钟指纹识别系统框架.....	14
2.3 无线设备时钟指纹分析及采集系统	15
2.3.1 无线网卡时钟指纹分析及信号采集.....	15
2.3.1.1 网卡的时钟指纹分析.....	15
2.3.1.2 WLAN 信号的传输机制.....	15
2.3.1.3 无线网卡信号采集装置.....	16
2.3.2 软件无线电设备指纹分析及信号采集.....	17
2.3.2.1 软件无线电设备的识别背景.....	17
2.3.2.2 数字频率合成的时钟指纹分析.....	18
2.3.2.3 软件无线电信号采集装置.....	18
2.4 本章小结	19

第三章	时钟指纹特征提取与识别的研究	20
3.1	特征提取方法的研究	20
3.1.1	特征选取原则	20
3.1.2	功率谱估计	21
3.1.3	基于频域建模的特征提取	22
3.1.4	线谱特征提取	23
3.1.4.1	线谱提取常用算法	23
3.1.4.2	改进算法	25
3.2	分类器的研究	27
3.2.1	自组织特征映射网络	28
3.2.1.1	分类原理	28
3.2.1.2	参数选择	30
3.2.2	支持向量机(SVM)	31
3.2.2.1	分类原理	31
3.2.2.2	核函数的选择	32
3.3	无线网卡信号特征提取及识别	34
3.3.1	信号分析与特征提取	34
3.3.2	实测数据分类识别	37
3.4	软件无线电设备信号特征提取及识别	41
3.4.1	信号分析与特征提取	41
3.4.2	实测数据分类识别	43
3.5	本章小结	48
第四章	无线通信系统环境指纹的研究	49
4.1	无线通信系统环境指纹简介	49
4.2	无线环境指纹的仿真	49
4.3	实验数据分析	54
4.4	本章小结	58
第五章	总结与展望	59

5.1 研究工作总结	59
5.2 未来研究方向	60
攻读硕士学位期间的学术论文及参与项目	61
参考文献	62
致谢	65

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Research Background.....	1
1.2 Research Status and Application Prospects.....	2
1.2.1 Research Status	2
1.2.1.1 Identification of Fingerprints	2
1.2.1.2 Classifier	4
1.2.2 Application Prospects.....	4
1.3 Main Contents of Thesis.....	5
1.4 Framework of Thesis	5
Chapter2 Clock Fingerprints and Signal Acquisition	7
2.1 Characteristics of Fingerprints.....	7
2.1.1 Characteristics of Fingerprints	7
2.1.2 Common-used Feature of Fingerprints	7
2.2 Clock Fingerprints.....	8
2.2.1 Introduction of Clock Fingerprints.....	8
2.2.2 Theoretical Proof.....	9
2.2.3 Framework of Clock Fingerprints	14
2.3 Clock Fingerprints Analysis and Signal Acquisition	15
2.3.1 WLAN Cards	15
2.3.1.1 Clock Fingerprints Analysis	15
2.3.1.2 Transmission Mechanism of WLAN.....	15
2.3.1.3 Signal Acquisition System	16
2.3.2 Software-Defined Radio Devices.....	17
2.3.2.1 Background	17
2.3.2.2 Clock Fingerprints of DDS	18
2.3.2.3 Signal Acquisition System	18
2.4 Summary.....	19

Chapter3 Feature Extraction and Identification of Clock Fingerprints.....20

3.1 Methods of Feature Extraction.....20

3.1.1 Principle of Feature Selection20

3.1.2 PSD21

3.1.3 Frequency-Domain Modeling22

3.1.4 Feature Extraction of Discrete Spectrum23

3.1.4.1 Common Algorithm23

3.1.4.2 Proposed Algorithm25

3.2 Classifier27

3.2.1 Self-Organizing Feature Mapping.....28

3.2.1.1 Introduction28

3.2.1.2 Parameter Selection.....30

3.2.2 Support Vector Machine.....31

3.2.2.1 Introduction.....31

3.2.2.2 Kernel Function Selection.....32

3.3 Feature Extraction and Classification of WLAN Cards34

3.3.1 Data Analysis and Feature Extraction34

3.3.2 Classification and Identification.....37

3.4 Feature Extraction and Classification of SDR Devices41

3.4.1 Data Analysis and Feature Extraction41

3.4.2 Classification and Identification.....43

3.5 Summary.....48

Chapter4 Environment Fingerprints of Wireless Communication System49

4.1 Introduction of Environment Fingerprints49

4.2 Simulation.....49

4.3 Data Analysis54

4.4 Summary.....	58
Chapter5 Conclusion and Future Work	59
5.1 Conclusion	59
5.2 Future Work	60
Research Work and Achievements During Master Studies	61
References	62
Acknowledgements	65

厦门大学博硕士论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库